

Caractérisation de la signature textuelle d'une image

Philippe CORNU, André SMOLARZ (*)

Laboratoire de Modélisation et de Sécurité des Systèmes (LM2S)
UTT, 12, rue Marie Curie, B.P. 2060, F 10010 Troyes Cedex

philippe.cornu@utt.fr, andre.smolarz@utt.fr

(*) Les noms des auteurs sont dans l'ordre alphabétique

Résumé – Partant d'une image et d'une transformation quasi-mixing, nous déterminons la Signature Textuelle de l'Image (STI) à partir d'une texture obtenue par application itérée de la transformation à l'image. La qualité de la texture dépend du nombre d'itérations. D'autre part, la STI étant définie comme étant une partie de cette texture, la localisation de cette partie est essentielle. Nous proposons ici une approche visant à optimiser ces choix afin que la Signature obtenue réponde à ses spécifications.

Abstract – From an image and a transformation, we extract the Image Textural Signature (ITS) from a texture obtained by iterating the transformation. The quality of the texture relies on the number of iterations. On the other hand, as the ITS is defined as a part of the texture, the localization of this part is essential. In this paper, we propose a solution to optimize these choices so that the computed Signature hits its specifications.

1. Introduction

Nous nous intéressons ici au moyen d'associer à une image un ensemble d'éléments définis et calculés pour permettre son identification.

À partir d'une transformation (bijective), dite quasi-mixing, sur les pixels de l'image, que l'on itère, nous obtenons une texture microscopique [4]. À partir d'une partie convenablement choisie de la texture, nous avons montré [3] qu'il est possible de reconstituer l'image de départ soit à sa taille d'origine (avec perte de qualité, mais le contenu visuel est restitué), soit à une taille réduite (propriété de reconstruction locale). C'est cette partie extraite de la texture que nous nommons Signature Textuelle de l'Image (STI), et que nous avons proposé comme caractérisation de l'image.

Le problème qui se pose naturellement est alors le suivant :

Pour une transformation donnée, comment optimiser la qualité de la STI en fonction de la texture obtenue (nombre d'itérations de la transformation) et en fonction de la localisation de la partie de la texture qui sera définie comme étant la STI.

Spécifications pour une STI

Nous rappelons ici les propriétés spécifiques caractérisant la Signature Textuelle de l'Image :

1. Elle caractérise l'image considérée (des images différentes donnent des signatures différentes) ;
2. Elle occupe un espace réduit par rapport à la taille de l'image ;
3. Elle est calculable facilement à partir de l'image ;

4. Elle permet de reconstituer les principaux éléments caractéristiques de l'image ;

5. Elle permet de reconstruire l'image à différentes échelles.

La STI apparaît comme étant assimilable à un "code génétique" de l'image en ce sens qu'elle permet, par exemple, une reconstruction (légèrement altérée) de l'image à sa taille d'origine. Par légèrement altérée nous signifions que l'image d'origine et l'image reconstruite sont sémantiquement identiques.

2. Transformations quasi-mixings

Le point de départ pour obtenir cette STI consiste à déterminer une transformation de l'image qui en "mixe" les éléments de façon statistiquement et spatialement convenable.

Un tel potentiel existe avec les systèmes dynamiques mixings (une définition intuitive en est donnée dans [1] pp. 18-19 : "soit M un shaker rempli d'un liquide incompressible comportant 10 % de gin, 90 % de martini. Supposons que le gin occupe initialement une portion A de M. Après n agitations f , le gin occupe la portion $f^n(A)$. Physiquement, il est naturel d'espérer que, pour n assez grand, la proportion de gin contenue dans un volume quelconque B de M sera de l'ordre de 10 % "). Une transformation ne peut pas être mixing dans le cas discret fini (voir [2] par exemple) qui est celui des images numériques. Toutefois, le passage du cas continu au cas fini fait apparaître pour certaines transformations mixings une propriété que nous nommons quasi-mixing (propriété de bien mélanger, statistiquement, les éléments) et qui permet de déterminer une STI. Dans

l'ensemble des systèmes dynamiques mixings qui sont présentés dans [1], nous n'utilisons ici que la Transformation du Boulanger (TB). Pour l'ensemble $[0,1] \times [0,1]$ la décomposition en étapes de cette transformation comporte trois phases :

- Transformation par une affinité rendant l'ensemble deux fois plus long dans le sens des x et deux fois plus étroit dans le sens des y .
- Découpage vertical en $x = 1$ (on obtient donc deux parties égales) ;
- Superposition des deux moitiés pour obtenir un ensemble transformé de taille identique à celle de l'ensemble de départ (pour plus de détails, voir [5]).

Dans le cas discret des images numériques, la TB étant une permutation des pixels de l'image, elle est périodique, et la période (nombre d'itérations de la TB permettant de revenir à l'image initiale), qui est fonction de la taille de l'image, se calcule à partir de la décomposition en cycles de la permutation. Par exemple, pour des images de taille $2^n \times 2^n$, la période est de $4n$ itérations et à $2n$ itérations, l'image est reconstruite inversée. Pour des images dont les dimensions ne sont pas des puissances de 2, 3..., la fonction qui à la taille associe la période est très irrégulière, par exemple, pour une image 300×300 on obtient une période de $2.0492e+19$, et pour 258×258 , une période de $1.1698e+34$ alors que pour 256×256 la période est de 32. Selon le nombre d'itérations que l'on effectue, on peut obtenir des textures très différentes, le problème est donc alors de déterminer la "meilleure" pour ensuite identifier la partie de cette texture qui constituera la STI. En partant d'une image de taille $2^n \times 2^n$, on obtient une texture après $n \pm k$ applications de la TB. La figure 1 montre la texture obtenue pour l'image "Léna" après 9 itérations ($k=0$). Nous verrons dans la partie suivante à quoi correspondent les valeurs de k .



Figure 1 Image Léna (512×512) et texture obtenue après 9 itérations

3. La Signature Texturelle d'une Image

La texture obtenue au moyen de la TB présente une périodicité spatiale verticale et horizontale que nous allons exploiter pour extraire la STI. On divise la texture T de taille $2^n \times 2^n$ en blocs de taille $2^m \times 2^m$ ($m < n$) et nous proposons de choisir l'un de ces blocs comme STI. La STI ainsi définie possède les propriétés évoquées dans la partie 2.

Par exemple, pour une texture obtenue après $n + k$ itérations, si l'on effectue $3m - k$ itérations de la TB sur tout bloc de taille $2^m \times 2^m$ ainsi extrait, on reconstitue une image de taille $2^m \times 2^m$, "semblable" à l'image initiale (la figure 2 présente les résultats obtenus pour des blocs de tailles variables pour $k=0$). La valeur $3m - k$ correspond au nombre d'itérations à effectuer, à partir de $m + k$, pour arriver à la période qui est de $4m$ itérations sur un bloc de taille $2^m \times 2^m$. Ce résultat est conforme à la propriété 5 et a conforté notre choix de proposer un tel bloc de texture comme STI. Concernant la propriété 1, nous avons montré [5] que si l'on choisit d'utiliser une description de la texture au moyen d'attributs statistiques (cooccurrence par exemple [4]), calculés sur la texture entière ou sur des blocs extraits selon la procédure décrite ici, on obtient un espace discriminant de représentation dans lequel des images distinctes sont représentées par des éléments (STI) différents. Les propriétés 2 et 3 sont ici évidemment vérifiées. La propriété 4 concerne la possibilité de retrouver ou de reconstituer les éléments caractéristiques d'une image (textures, géométriques, régions...). Nous avons observé qu'en constituant une texture T' de taille $2^n \times 2^n$ en dupliquant un bloc de taille $2^m \times 2^m$, extrait de T , on obtenait, après $3n$ itérations de la TB, une image de taille $2^n \times 2^n$ correspondant à une version d'autant plus fidèle à l'image d'origine que m est proche de n .

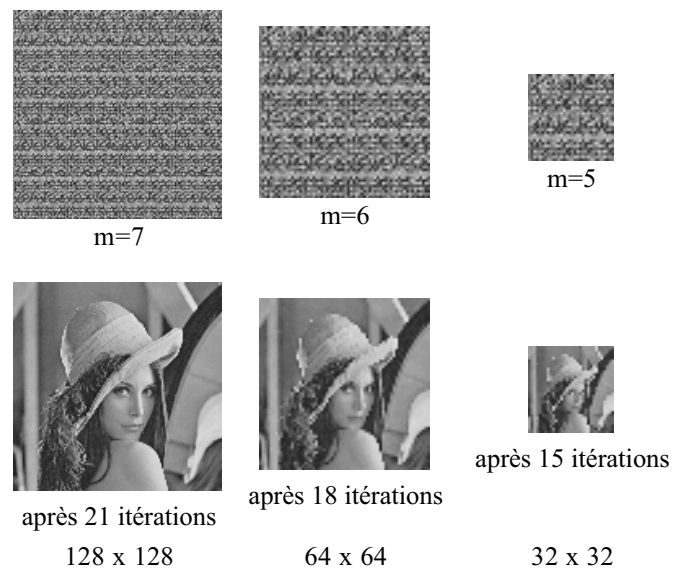


Figure 2 STI et image reconstruite

4. Choix et caractérisation de la STI

Les résultats montrent que la texture obtenue par des itérations de la TB présente une bonne homogénéité : les états des pixels (niveaux de gris, couleurs, caractéristiques locales) de l'image sont distribués spatialement de façon très homogène et très locale. Nous avons précisé dans la partie précédente que la STI proposée possède les propriétés décrites au paragraphe 2.

Toutefois, si l'on souhaite choisir comme STI, un bloc de taille $2^m \times 2^m$ extrait de la texture, il nous faut préciser un

critère de choix. Pour cela, nous proposons de reprendre la notion de "mélange optimal" reposant sur l'exemple du shaker présenté précédemment. On admet que l'image originale est parfaitement mélangée si la distribution de ses niveaux de gris ou de ses couleurs est "identique" dans toute fenêtre définie dans le plan de l'image. La distance du Chi-deux, calculée entre la distribution de fréquence des niveaux de gris obtenue sur des blocs (candidats à la STI) et celle obtenue sur l'image originale (référence), nous semble être un critère adapté pour évaluer l'homogénéité de la texture, d'une part et, d'autre part pour choisir le bloc qui constituera la STI. Les figures 3-1 à 3-3 représentent l'évolution de la distance du Chi-deux en fonction du nombre d'itérations pour l'image "Léna" de taille 512 x 512 et pour des blocs de tailles 128, 64 et 32 pixels. Pour une meilleure visibilité, seules sont représentées les itérations 7 à 13.

Si l'on se réfère à une erreur de 1^{ère} espèce de 10%, on peut observer, sur les figures 3-1 à 3-3, que la distance moyenne (courbe centrale) de l'ensemble des blocs est inférieure au seuil pour les itérations 8 à 11. En revanche, la courbe de distance maximale (courbe supérieure) n'est en dessous du seuil que pour les itérations 9 et 10 et pour des blocs de taille 128 x 128 (figure 3-1). Pour des blocs de plus petite taille, l'adéquation entre la distribution des niveaux de gris des blocs et celle de l'image originale n'est pas significative pour l'ensemble des blocs.

Le critère reposant sur la distance du Chi-deux entre distributions de niveaux de gris indique donc que la meilleure homogénéité est atteinte ici pour 10 itérations. En réalité, si l'on compare visuellement des images de tailles 64 x 64 reconstituées à partir des blocs extraits des textures obtenues à différentes itérations, on observe que les détails sont mieux restitués à 9 itérations qu'à 10. La figure 3-4 montre le 1^{er} bloc supérieur gauche de taille 64 x 64, reconstitué à partir de textures obtenues respectivement à 7, 8, 9, 10 et 11 itérations.

Ceci peut s'expliquer par le fait que 9 itérations correspondent exactement au quart de la période de la TB et qu'à 18 itérations (demi-période) on retrouve l'image d'origine inversée. Ce constat nous a amené à utiliser un autre critère permettant de comparer, entre eux, l'ensemble des blocs extraits sur des textures obtenues à différentes itérations. Nous avons ainsi calculé, pour un nombre donné d'itérations, la dispersion moyenne (écart type) en chaque pixel sur l'ensemble des blocs. Nous avons ensuite calculé la dispersion moyenne de l'ensemble des 2^m x 2^m pixels. Les résultats sont présentés sur les figures 3-5 et 3-6 pour des blocs de tailles variables. La figure 3-5 correspond à l'image Léna de taille 512 x 512 pour laquelle n=9, la figure 3-6 à l'image Léna de taille 256 x 256 pour laquelle n=8. Sur ces figures, on peut observer que la dispersion est minimale pour n itérations, à l'exception des blocs de taille 32 x 32 pour lesquels la dispersion est sensiblement la même à n et n+1 itérations. Ce résultat est en accord avec le fait que les images reconstituées à partir de blocs extraits de textures, obtenues à n itérations, présentent entre elles les plus grandes similitudes.

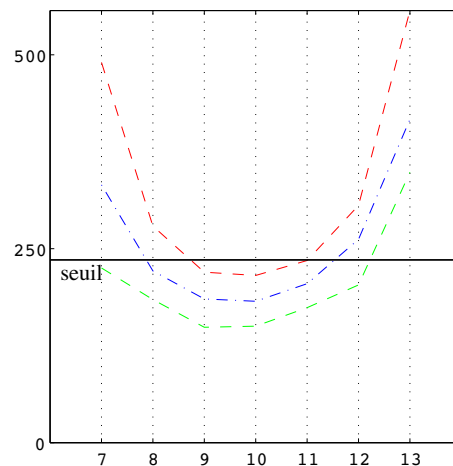


Figure 3-1 taille des blocs : 128 x 128

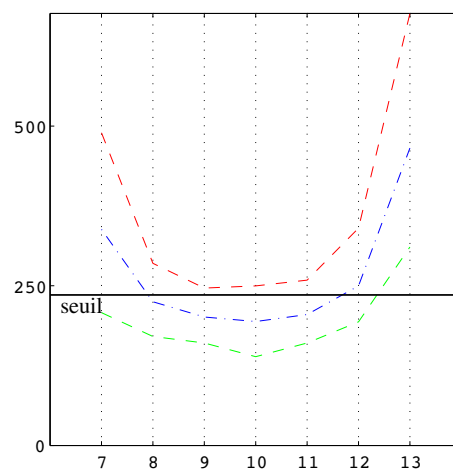


Figure 3-2 taille des blocs : 64 x 64

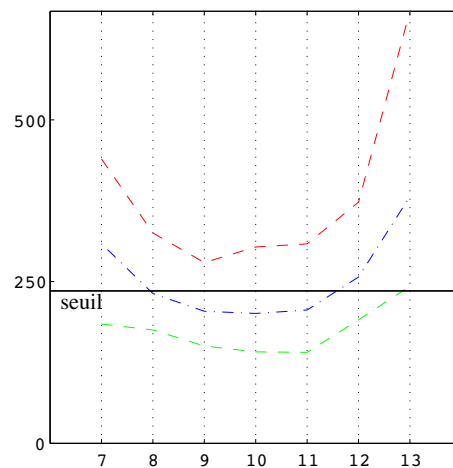


Figure 3-3 taille des blocs : 32 x 32

Compte Tenu des remarques formulées sur les résultats que nous avons obtenus avec les deux critères, nous proposons, pour une taille donnée, de choisir la STI parmi les blocs extraits de la texture obtenue à l'itération n pour une image de taille 2ⁿ x 2ⁿ. Pour le choix du bloc représentant la STI, nous proposons de retenir celui dont la distribution des niveaux de gris est la plus proche (au sens de la distance du Chi-deux) de celle de l'image d'origine. Ce choix revient en effet à

considérer tout d'abord les blocs les moins dispersés sur le plan de la représentation visuelle qu'ils donnent, à une échelle inférieure, de l'image d'origine. Ensuite, parmi ces blocs, on privilégie celui qui représente le mieux la distribution des niveaux de gris de l'image d'origine.



Figure 3-4 Reconstitution à partir de blocs 64 x 64

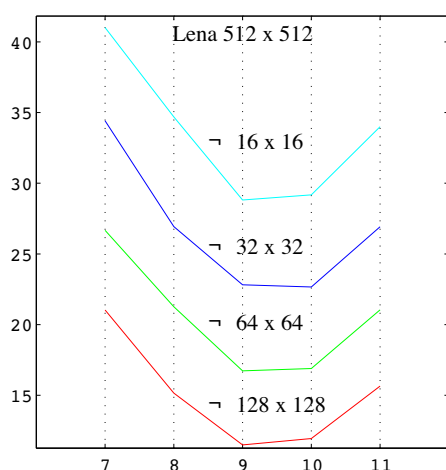


Figure 3-5

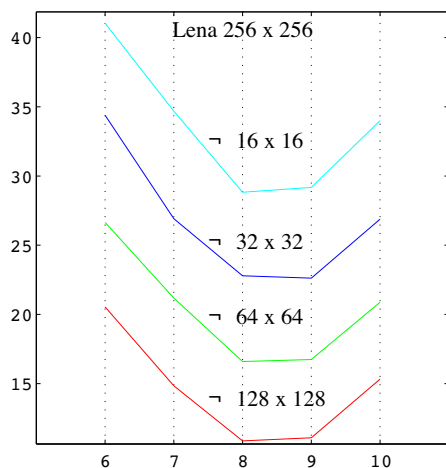


Figure 3-6

5. Conclusions

Nous avons proposé de caractériser une image par tout ou partie de la texture qui lui est associée par permutation de ses pixels.

Pour cela nous nous sommes inspirés des transformations "mixings", définies sur des ensembles continus et que nous avons renommées "quasi-mixings", dans le cas d'images numériques. Nous avons tout d'abord défini quelles étaient les propriétés que l'on pouvait attendre d'une Signature Texturelle d'Image (STI). Ensuite, dans le cas d'une transformation

particulière (la transformation du boulanger), nous avons étudié des critères permettant de choisir le nombre d'itérations à effectuer pour obtenir une texture de laquelle on peut extraire la STI d'une part, et d'autre part de sélectionner la partie de la texture qui constituera la STI. Le premier critère que nous avons étudié repose sur le calcul de la distance du Chi-deux entre la distribution des niveaux de gris de blocs extraits d'une texture et celle de l'image d'origine. Nous avons montré que l'on pouvait ainsi sélectionner, par un test statistique d'adéquation, la ou les itérations pour lesquelles on avait un mélange homogène des niveaux de gris de l'image, en accord avec l'exemple que nous avons présenté dans la partie 3 pour illustrer les transformations "quasi-mixings" (Cf. fig. 3-1 à 3-3). Nous avons vu, (Cf. fig. 3-4) sur la base de ce critère, que diverses valeurs d'itérations donnent des textures suffisamment homogènes pour permettre une reconstitution de l'image à partir d'un bloc de dimension inférieure à la taille de l'image d'origine. Après avoir observé que les images reconstituées à une taille inférieure ne présentaient pas des qualités visuelles semblables selon le nombre d'itérations effectuées, nous avons utilisé un critère de dispersion pour rechercher le nombre d'itérations permettant de construire, à une échelle inférieure, des images dont l'aspect visuel soit le moins dégradé par rapport à l'image d'origine. Ceci nous a permis de mettre en évidence que le quart de la période de la transformation, correspond au nombre d'itérations qui offre la meilleure restitution visuelle de l'image d'origine à des échelles inférieures (Cf. fig. 3-5 et 3-6).

La conjonction de ces deux critères nous a permis de définir le choix de la STI d'une image. Pour des raisons de présentation, les résultats que nous avons donnés ici reposent sur le seul exemple de l'image Léna en niveaux de gris. Nous avons testé ces critères sur d'autres images en niveaux de gris et nous avons pu observer les mêmes résultats. En ce qui concerne les images couleur, l'application de la transformation s'opère de la même manière que pour les images en niveaux de gris puisqu'il s'agit d'une permutation des pixels. Quant aux deux critères que nous avons utilisés, leur application aux images couleur nous semble tout aussi adaptée.

6. Références

- [1] V. I. Arnold, A. Avez, *Problème ergodiques de la mécanique classique*, Gauthier-Villars, Paris 1967.
- [2] P. Billingsley, *Ergodic Theory and Information*, John Wiley & Sons, Inc., New-York 1965.
- [3] Ph. Cornu, A. Smolarz, "Caractérisation d'images par textures associées", Journée Thématique du GDR ISIS, CNRS - Meudon, 10 Octobre 2000,
- [4] R. M. Haralick, K. Shanmugam, Its'hak Dinstein, "Textural Features for Image Classification", IEEE Trans. on systems, man & cybernetics, Vol. SMC-3, N° 6, pp 610-621 Nov 1973.
- [5] A. Smolarz, Ph. Cornu, "Transformation d'images pour la modélisation et l'extraction de caractéristiques statistiques", actes de la journée CoopAnim, Lyon, 14/06/01, pp. 18-23

